

Aus dem Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, LMU Klinikum

Institut der Ludwig-Maximilians-Universität München

Vorstand: Prof. Dr. med. Dennis Nowak

***Abschätzung von gesundheitsgefährdenden Expositionen durch toxische  
(Halb-)Metalle und Organochlor-Pestizide als Inhaltsstoffe historischer  
Konservierungsmittel bei Beschäftigten eines naturhistorischen Museums***

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Humanbiologie

an der Medizinischen Fakultät der

Ludwigs-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Katharina Marlene Deering

aus München

2021

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

Berichterstatter:	PD Dr. med. Stephan Böse-O´Reilly
Mitberichterstatter:	Prof. Dr. phil. nat. Gabriele Sabbioni Prof. Dr. rer. nat. Ines Golly Prof. Dr. med. Matthias Graw
Mitbetreuung durch den promovierten Mitarbeiter:	Dr. rer. nat. Rudolf Schierl (berentet) Dr. rer. nat. Stefan Rakete (Nachfolger)
Dekan:	Prof. Dr. med. dent. Reinhard Hickel
Tag der mündlichen Prüfung:	29.06.2021

## Affidavit



## Eidesstattliche Versicherung

Deering, Katharina Marlene

---

Name, Vorname

Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Dissertation mit dem Titel:

*Abschätzung von gesundheitsgefährdenden Expositionen durch toxische (Halb-)Metalle und Organochlor-Pestizide als Inhaltsstoffe historischer Konservierungsmittel bei Beschäftigten eines naturhistorischen Museums*

selbstständig verfasst, mich außer der angegebenen keiner weiteren Hilfsmittel bedient und alle Erkenntnisse, die aus dem Schrifttum ganz oder annähernd übernommen sind, als solche kenntlich gemacht und nach ihrer Herkunft unter Bezeichnung der Fundstelle einzeln nachgewiesen habe.

Ich erkläre des Weiteren, dass die hier vorgelegte Dissertation nicht in gleicher oder in ähnlicher Form bei einer anderen Stelle zur Erlangung eines akademischen Grades eingereicht wurde.

München, den 04.08.2021

---

Ort, Datum

Katharina Marlene Deering

---

Unterschrift Doktorandin

# Inhaltsverzeichnis

Affidavit .....	3
Inhaltsverzeichnis .....	4
Abkürzungsverzeichnis.....	5
Publikationsliste .....	6
1. Gefahrstoffe als historische Konservierungsmittel in musealen Sammlungen - Eine mögliche Ursache für gesundheitsgefährdende Expositionen bei Beschäftigten in Museen .....	7
1.1. Einleitung .....	7
1.2. Historische Anwendung von Bioziden in musealen Betrieben und Denkmälern .....	9
1.3. Toxische Konservierungsmittel im Museum – Eine Gesundheitsgefahr für Beschäftigte? ..	12
2. Studiendesign .....	13
3. Darstellung der Methoden und Ergebnisse .....	15
3.1. Darstellung der Methoden und Ergebnisse aus dem Ambient Monitoring (Schritt 1 und 2) .	15
3.2. Darstellung der Methoden und Ergebnisse aus dem Human Biomonitoring (Schritt 3).....	17
3.3. Entwicklung einer Handlungsanleitung für Arbeiten in kontaminierten Bereichen (Schritt 4)	18
3.4. Diskussion .....	18
3.5. Schlussfolgerung .....	20
4. Eigenanteil der Arbeit .....	21
4.1. Arbeitsanteil Ko-Autoren Veröffentlichung I .....	21
4.2. Arbeitsanteil Ko-Autoren Veröffentlichung II .....	22
5. Zusammenfassung .....	23
6. Summary .....	24
7. Veröffentlichung I.....	25
8. Veröffentlichung II.....	26
9. Literaturverzeichnis .....	27
10. Abbildungsverzeichnis .....	29
11. Tabellenverzeichnis .....	29
12. Danksagung.....	30

## Abkürzungsverzeichnis

4,4'-DDE = Dichlordiphenyl-  
dichlorethylen

4,4'-DDT = Dichlordiphe-  
nyltrichloroethan

As = Arsen

As<sub>3+</sub> = Dreiwertiges Arsen

As<sub>5+</sub> = Fünfwertiges Arsen

AsB = Arsenobetain

AGW = Arbeitsplatzgrenz-  
wert

BAR = Biologischer Arbeits-  
stoff-Referenzwert

BAT = Biologischer Arbeits-  
platz-Toleranzwert

BGW = Biologischer Grenz-  
wert

BLW = Biologischer Leitwert

DBU = Deutsche Bundesstif-  
tung Umwelt

DDE = Dichlordiphenyl-dich-  
lorethen

DDD = Dichlordiphenyl-dich-  
lorethan

DDT = Dichlordiphenyl-trich-  
lorethan

DMA = Dimethylarsinsäure

GC-ECD/FID = Gaschroma-  
tograph - Flammenionisati-  
onsdetektor / Elektronenein-  
fangdetektor

GC/MS = Gaschromato-  
graph/Massenspektrometrie

GF-AAS = Grafitrohr Atom-  
absorptionsspektrometrie

FIMS = Flow injection mer-  
cury system

HBM = Human biomonitor-  
ing

HCB = Hexachlorbenzol

Hg = Quecksilber

MAK = Maximale Arbeits-  
platzkonzentration

MfN = Museum für Natur-  
kunde Berlin

MMA = Monomethylarson-  
säure

OCPs = Organochlor-Pesti-  
zide

PCP = Pentachlorphenol

α-HCH = α-hexachlorcyclo-  
hexan

β-HCH = β-hexachlorcyclo-  
hexan

γ-HCH = γ-hexachlorcyclo-  
hexan

## Publikationsliste

- Art der Publikation: Wissenschaftlicher Artikel

Deering, K., Spiegel, E., Quaisser, C., Nowak, D., Schierl, R., Bose-O'Reilly, S., et al. (2019). Monitoring of arsenic, mercury and organic pesticides in particulate matter, ambient air and settled dust in natural history collections taking the example of the Museum für Naturkunde, Berlin. *Environ Monit Assess*, 191(6), 375, doi:10.1007/s10661-019-7495-z.

- Art der Publikation: Wissenschaftlicher Artikel

Deering, K., Spiegel, E., Quaisser, C., Nowak, D., Rakete, S., Gari, M., et al. (2020). Exposure assessment of toxic metals and organochlorine pesticides among employees of a natural history museum. *Environ Res*, 184, 109271, doi:10.1016/j.envres.2020.109271.

### Zusätzliche fachbezogene Publikationen:

- Art der Publikation: Fachbuch

Spiegel, E., Deering, K., Quaisser, C., Böhm, S., Nowak, D., Schierl, R., et al. (2019). Handreichung zum Umgang mit kontaminiertem Sammlungsgut. In: H. C. Broding (Ed.), *Handbuch der betriebsärztlichen Praxis* (Vol. 74. März 2019). Landsberg/Lech: ecomed Medizin.

- Art der Publikation: Fachbuch

Spiegel, E., Deering, K., Quaisser, C., Nowak, D., Stefan, R., Susann, B., et al. (2019). Handreichung zum Umgang mit kontaminiertem Sammlungsgut (Vol. 1). München: oekom Verlag.

- Art der Publikation: Artikel in Fachzeitschrift

Spiegel, E., Deering, K., Quaisser, C., Nowak, D., Rakete, S., Böse-O'Reilly, S., et al. (2019). Ambient- und Humanbiomonitoring von Gefahrstoffen zur Erstellung einer Handlungsempfehlung am Beispiel einer naturkundlichen Sammlung - Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt. In: *Restauro - Zeitschrift für Konservierung und Restaurierung*, 2.

- Art der Publikation: Artikel in Fachzeitschrift

Spiegel, E., Deering, K.: Einschätzung der Gefährdung und Umgang mit biozidbelasteten Kulturgütern im musealen Umfeld. In: *museum heute*, 54 (2018), S. 28-31

# 1. Gefahrstoffe als historische Konservierungsmittel in musealen Sammlungen - Eine mögliche Ursache für gesundheitsgefährdende Expositionen bei Beschäftigten in Museen

## 1.1. Einleitung

Museale Sammlungen und kulturhistorisch wichtige Gebäude wurden in der Vergangenheit präventiv und kurativ mit potenziell toxischen Substanzen vor Fraßschädlingen und Schimmelbefall konserviert. Viele der damals verwendeten Substanzen sind heute als karzinogen, mutagen, teratogen und / oder reproduktionstoxisch (KMR-Stoffe) bekannt und können daher ein potentiell Gesundheitsrisiko für die Beschäftigten während ihrer täglichen Arbeit darstellen.

Einige wissenschaftliche Studien konnten bereits zeigen, dass museale Sammlungen insbesondere solche mit ethnologischen und naturhistorischen (zoologischen) Schwerpunkten sowie Herbarien, mit potenziell toxischen Pestiziden oder einer Kombination von Pestiziden kontaminiert sind. So weisen zum Beispiel Cross und Odegaard (2009), Marcotte et al. (2017), Gribovich et al. (2013) und Seifert et al. (2000) in verschiedenen Sammlungen Belastungen mit Arsen und / oder Quecksilber nach. Holt et al. (2017); Krooß und Stolz (1993); Marcotte et al. (2014) und Schieweck et al. (2007) belegen das Vorkommen von  $\gamma$ -Hexachlorcyclohexen ( $\gamma$ -HCH), Pentachlorphenol (PCP) und Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT) und seine Metaboliten (DDE, DDD) in Museen oder Gebäuden unter Denkmalschutz.

Hier zeigt sich deutlich, dass durch die mehrfache und jahrzehntelange Verwendung von verschiedenen Gefahrstoffgruppen heutzutage ein regelrechter Gefahrstoff-Cocktail auf den Objekten bestehen kann. Dadurch ergeben sich bei bestimmten Berufsgruppen wie z. B. Konservatoren, Restauratoren, Kuratoren, Reinigungspersonal, Aufsichtspersonal und Wissenschaftler, die im direkten Kontakt mit den belasteten Objekten oder in den Sammlungsräumen arbeiten, unbekannte Expositionsszenarien. Hier muss bedacht werden, dass die Expositionsszenarien während ihrer täglichen Arbeit passieren können, ohne dass sich diese Berufsgruppen dessen bewusst sind. Das Wissen um die verwendeten Gefahrstoffe und der daraus möglicherweise entstehenden Gefahr für die Beschäftigten ist häufig nicht mehr präsent bzw. über die Jahrzehnte hinweg in Vergessenheit geraten. Daher begeben sich die Beschäftigten in möglicherweise gefährdende Szenarien ohne angemessene Schutzkonzepte.

Dieser unbewusste Umgang mit der Gefährdung durch die alten Konservierungsmittel erscheint erst einmal überraschend, da die Gesundheitsrisiken, die zum Beispiel durch die Verwendung von Formulierungen mit toxischen Metallen als Konservierungsmittel entstehen können, bereits den frühen Präparatoren und Wissenschaftlern bekannt waren (Martin, 1879; Naumann, 1848).

Besonders hervorzuheben ist hier eine frühe arbeitsmedizinische Veröffentlichung von Arndt (1932a) über Berufskrankheiten an naturwissenschaftlichen Museen. In dieser Veröffentlichung berichtet er besonders über Arsenvergiftungen bei Präparatoren sowie bei Beschäftigten in Museen, die mit den konservierten Objekten sammlungspflegerisch zu tun haben. Arsenvergiftungen bei Museumspersonal bzw. Präparatoren und frühen Forschern waren jedoch auch schon weit vor 1932 bekannt, wie

Naumann (1848) in seiner Abhandlung über die Taxidermie beschreibt: „*Die wirksamsten Conservirmittel sind Gifte, als: Kobalt, Arsenik und Sublimat [Anm. d. Verf. Quecksilber(II)-chlorid, HgCl<sub>2</sub>]; es kann aber nicht dringend genug gewarnt werden, wie gefährlich es ist, damit umzugehen.*“ (Naumann, 1848, S. 13). Das heißt, auch weitere historische Veröffentlichungen belegen die umfangreiche Verwendung von toxischen (Halb)-Metallen. Verwendet sie hauptsächlich als Fixaturen oder als Konservierungsmittel gegen Schadorganismen an organischen Sammlungsobjekten (Arndt, 1932b; Brown, 1870; Rowley, 1925).

Oftmals taucht die Frage auf, warum sich die Konservierungsmittel trotz des weit zurückliegenden Einbringens noch in den Objekten befindet. An dieser Stelle muss erwähnt werden, dass als ein unerwünschter Nebeneffekt des erstrebten Erhalts der kulturhistorischen Objekte in den Museen, auch die Gefahrstoffe regelrecht konserviert werden. Durch sekundäre Kontaminationen und physikalische Senkeneffekte können auch ursprünglich nicht kontaminierte Objekte und Einrichtungsgegenstände heutzutage unbekannte und möglicherweise gesundheitsschädliche Belastungen aufweisen. Zusätzlich sind die verwendeten Biozide in der Regel chemische Verbindungen mit einer sehr hohen Persistenz und können unter stabilen klimatischen Bedingungen, Lichtausschluss und geringer Feuchtigkeit auch noch viele Jahrzehnte nach dem Einbringen in den Objekten vorhanden sein. Durch die genannten Sekundärkontaminationen und Senkeneffekten kann zusätzlich der Staub sowie die Raumluft potenziell gesundheitsschädliche Mengen an Gefahrstoffen aufweisen. So können die Wirkstoffe luftgetragen oder bei direktem Kontakt mit den kontaminierten Objekten inhalativ, dermal oder durch Ingestion aufgenommen werden.

Durch das häufig unwissentliche und daher ungeschützte Arbeiten mit den Konservierungsstoffen könnten sich Expositionsszenarien ergeben, die zu schwerwiegenden Krankheiten der Beschäftigten führen. So geschehen bei einer Restauratorin, die zu einem Berufskrankheitenfeststellungsverfahren vorstellig wurde. Die Restauratorin entwickelte ein Urothelkarzinom sowie ein Basaliom auf dem Handrücken nachdem sie jahrzehntelang ethnologische Objekte restaurierte. Die Gutachter des Artikels empfahlen hier die Anerkennung einer Berufskrankheit nach BK1108 (Erkrankung durch Arsen oder seine Verbindungen) (Hagemeyer et al., 2015).

Dies ist bisher der einzige veröffentlichte Erkrankungsfall aus der genannten Berufsgruppe im Zusammenhang mit toxischen Konservierungsstoffen. Es wird jedoch angenommen, dass andere Fälle nicht in diesem Zusammenhang diagnostiziert oder nicht veröffentlicht werden. Vermutlich aus dem Grund heraus, dass die Erkrankung häufig nicht auf eine berufliche Exposition rückgeführt wird. Daher spiegelt der veröffentlichte Fall möglicherweise nicht die gesamte Dimension der Krankheitsfälle einer Exposition gegenüber toxischen Substanzen in Museen oder durch Arbeiten in kulturhistorischen Gebäuden wieder. Jedoch berichteten, innerhalb einer nicht-repräsentativen Umfrage<sup>1</sup> 37% der Beschäftigten an 148 Museen (Rücklaufquote 53%) in Deutschland, Österreich und der Schweiz über diffuse Gesundheitsbeschwerden wie plötzliches Nasenbluten, Kopfschmerzen, Atembeklemmung und Schwindel bei Arbeiten in Depots, in denen ein Großteil der musealen Objekte gelagert werden und bei Arbeiten direkt

---

<sup>1</sup> Diese Umfrage der Autorin war Teil der Master-Thesis (2015)



an den musealen Objekten. Einige erwähnten des Weiteren in offenen Antworten auch die hohen Krankentage und Krebsfälle an ihren Instituten (Deering, 2015). Diese Umfrage lässt keine Rückschlüsse auf tatsächliche toxikologisch relevante Gegebenheiten zu, bildet jedoch ein emotionales Abbild der aktuellen Lage hinsichtlich der Problematik in Museen.

Häufig sind die Beschäftigten, die zuständigen Arbeitsmediziner\*innen und die behandelnden Mediziner\*innen nicht ausreichend sensibilisiert und sich daher der Gesundheitsgefahren, die durch ungeschützte Arbeiten mit den kontaminierten Objekten oder in den Depots entstehen können, nicht bewusst. So besteht für die Beschäftigten häufig nicht die Gelegenheit, mögliche Erkrankungen als Berufskrankheiten anerkennen zu lassen. Bei dem genannten Fall der Restauratorin wurde die Verdachtsanzeige nicht von den behandelnden Ärzten gestellt, sondern von der Erkrankten selbst. Diese Eigenhandlung ist allerdings nur möglich, wenn die Beschäftigten ein grundlegendes Wissen gegenüber den Expositions-Risiko-Beziehungen toxischer Inhaltsstoffe in den Konservierungsmitteln vorweisen können, sich auch die zuständigen Arbeitsmediziner\*innen auskennen und eine Verdachtsanzeige stellen oder behandelnde Ärzt\*innen aktiv aufgesucht werden, die sich in der genannten Thematik auskennen. Eine weitere Schwierigkeit ist hier ebenfalls, dass einige der Erkrankungen kausal nicht auf die arbeitsbedingte Exposition zurückzuführen sind, da die Latenzzeiten Jahre bis Jahrzehnte betragen können.

Obwohl diese Problematik bereits seit über 100 Jahren bekannt ist, ist das flächendeckende Bewusstsein und ein Umsetzen der nötigen Schutzmaßnahmen gegen gesundheitsgefährdende Expositionen in Museen, Archiven, Sammlungen, Denkmälern und ähnlichen Einrichtungen meist noch nicht gegeben.

## 1.2. Historische Anwendung von Bioziden in musealen Betrieben und Denkmälern

Im 18. Jahrhundert begannen europäische Naturwissenschaftler, Sammler, Entdecker und Kolonisten auf ihren Forschungsreisen große Mengen organischer Präparate aus der ganzen Welt zurück nach Europa zu schicken. Diese Objekte bilden die empirische Grundlage für die heute bekannten großen Sammlungen in der weltweiten Museumslandschaft. Die frühen Forscher hatten jedoch ein spezifisches Problem hinsichtlich der Konservierung ihrer gesammelten Exponate. Durch die Einwirkung von Schadinsekten und Schimmelpilzen sowie Feuchtigkeit und Hitze in den Forschungsgebieten verloren sie große Bestände der Sammlungen bereits in den Ausgangsländern. Die gesammelten Exemplare mussten dementsprechend schon vor Ort unter den widrigsten Umständen präpariert und ausreichend konserviert werden. Ab der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts schrieben einige Präparatoren, Sammler und Naturwissenschaftler Tutorien zur Konservierung organischer Materialien und geben so heutzutage gute Einblicke in die Pflege und den Umgang mit den gesammelten Objekten in der Vergangenheit. Diese Quellen bilden eine wichtige Datengrundlage über die zurückliegende Verwendung der Gefahrstoffe in den Sammlungen. Diese frühen Anleitungen zur Konservierung empfehlen präventive und kurative Maßnahmen mit einer Vielzahl von schädlichen Gefahrstoffen (Brown, 1870; Martin, 1886; Naumann, 1848).

So war seit etwa 1830 Arsen, insbesondere Arsenseifen und anderweitige Lösungen mit Arsenik (Arsen(III)-oxid,  $\text{As}_2\text{O}_3$ ), das Standardkonservierungsmittel für naturkundliche und ethnologische Sammlungsobjekte. Bis weit in das 20. Jahrhundert hinein wurden daher in großen Umfang Lösungen mit Beimengungen giftiger Schwermetalle zur Konservierung eingesetzt.

Als veranschaulichendes Beispiel für die Menge an Arsen, die für die Konservierung eines größeren Säugetiers gebraucht wurde, kann folgendes Zitat dienen: „*Es wird z. B. auf die Konservierung einer Nashorndecke für ein Schausamlungsstück 1kg Arsen gerechnet!*“ (Arndt, 1932a, S. 51 ).

Die gesundheitlichen Risiken von Formulierungen mit Arsen und Quecksilber waren Präparatoren und Naturwissenschaftlern schon früh bekannt (Chevallier, 1860; Martin, 1879; Naumann, 1848), wurden jedoch in der Taxidermie toleriert, da sie damals keine ähnlich wirksamen Substitute hatten.

Mit der Entwicklung der modernen industriellen chemischen Synthese zu Beginn des 20. Jahrhunderts wurden organische Pestizide mit Chlorsubstituten immer beliebter. Vor allem, da damals für die organochlorhaltigen Pestizide keine Gesundheitsgefahren für den menschlichen Organismus bekannt waren (Simmons, 1959). Es steht im deutlichen Gegensatz zu den toxischen Metallen, bei denen der Gefährdungsgrad durch die Expositionen schon länger bekannt und gefürchtet waren. In den 30er Jahren des 20. Jahrhunderts wurden dann folglich die Pestizide mit Inhaltstoffen aus toxischen (Halb-)Metallen durch die Organochlorpestizide (OCPs) verdrängt. Der bekannteste Komplex ist hierbei Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT), welches industriell sehr einfach und kostengünstig hergestellt werden konnte (Simon, 1999). Andere populäre organische Verbindungen waren Formulierungen mit Lindan, Pentachlorphenol (PCP), mono- und dichlorierte Naphthaline sowie Dichlorbenzole (Goldberg, 1996). Die hier genannten Stoffe sind jedoch nicht alle Konservierungsmittel, die im musealen Bereich ihre Anwendung fanden. Die Tabelle 1 zeigt eine Auswahl weiterer Konservierungsmittel, die in Museen verwendet wurden. (Zusammenstellung aus Goldberg, 1996; Charlton, 2014; Omstein, 2010; Palmer, 2003; Sirois, 2010; Spiegel, 2009)

Tabelle 1: Auswahl möglicher Konservierungsstoffe

<b>Organochlor-Biozide</b>	<b>CAS-Nr.</b>	<b>Organo-Phosphor-Biozide</b>	<b>CAS-Nr.</b>	<b>Pyrethroide, Pyrethrum, Piperonyl-butoxid</b>	<b>CAS-Nr.</b>	<b>Toxische Metalle</b>	<b>CAS-Nr.</b>
2,3,4,5-Tetrachlorphenol	4901-51-3	Phoxim	14816-18-3	Transfluthrin	118712-89-3	Antimon	7440-36-0
PCP	87-86-5	Heptenophos	23560-59-0	Allethrin	584-79-2	Arsen	7440-38-2
beta-HCH	319-85-7	Propetamphos	31218-83-4	Resmethrin	10453-86-8	Blei	7439-92-1
gamma-HCH (Lindan)	58-89-9	Diazinon	95-48-7	Tetramethrin	7696-12-0	Cadmium	7440-43-9
delta-HCH	319-86-8	Chlorpyrifos-Methyl	5598-13-0	Phenothrin	26002-80-2	Chrom	7440-47-3
Hexachlorbenzol (HCB)	118-74-1	Fenchlorphos	200-84-3	Cyphenothrin	39515-40-7	Kobalt	7440-47-3
Quintozen	82-68-8	Fenitrothion	122-14-5	Cyhalothrin	68085-85-6	Kupfer	7440-50-8
Chlorthalonil	1897-45-6	Malathion	121-75-5	alpha-Cypermethrin	67375-30-8	Nickel	7440-02-0
Heptachlor	76-44-8	Chlorpyrifos	2921-88-2	Permethrin	52645-53-1	Quecksilber	7439-97-6
Heptachlorepoxid	1024-57-3	Parathion-Ethyl	56-38-2	Cyfluthrin	68359-37-5	Tributylzinn	211-704-4
Dichlofluanid	1085-98-9	Bromophos-Methyl	2104-96-3	Cypermethrin	52315-07-8		
Tolyfluanid	731-27-1	Phenthoat	2597-03-7	Fenvalerat	51630-58-1		
Endosulfan 1+2	115-29-7	Methidathion	950-37-8	Deltamethrin	52918-63-5		
Endosulfansulfat	1031-07-8	Tetrachlorvinphos	22248-79-9	Piperonyl-butoxid	51-03-6		
Aldrin	309-00-2	Phosalon	2310-17-0	Pyrethrum	8003-34-7		
Dieldrin	60-57-1			Transfluthrin	118712-89-3		
Endrin	72-20-8			Allethrin	584-79-2		
Endrinaldehyd	7421-93-4			Resmethrin	10453-86-8		
2,4'-DDE	3547-04-4						
4,4'-DDE	72-55-9						
2,4'-DDD	53-19-0						
4,4'-DDD	72-54-8						
2,4'-DDT	789-02-6						
4,4'-DDT	50-29-3						
Chlordan	12789-03-6						
Toxaphen	8001-35-2						
Methoxychlor	72-43-5						
Eulan	-						
Furmecyclox	60568-05-0						
Propiconazol	60207-90-1						
Tebuconazol	60-57-1						

### 1.3. Toxische Konservierungsstoffe im Museum – Eine Gesundheitsgefahr für Beschäftigte?

Aufgrund des vielfachen und auch wiederholten Einsatzes verschiedener Pestizide in der Vergangenheit wurde auf den Objekten ein regelrechter „Cocktail“ kreiert (siehe Tabelle 1). Jedoch nicht nur als Konservierungsmittel verwendete Gefahrstoffe sind in musealen Objekten zu finden, auch materialimmanent können Gefahrstoffe vorkommen. Als Beispiel dienen hier die arsenhaltigen Pigmente Realgar und Schweinfurter Grün (Andreas, 1996; Werner et al., 2019). Aus dem historischen Kontext heraus ist die Verwendung der Biozide nachvollziehbar, stellt jedoch heutzutage für die Verantwortlichen in der Museumslandschaft sowie für die Beschäftigten eine große Herausforderung dar.

Deutschlandweit haben vermutlich mehr als 80% der rund 6.400 existierenden Museumseinrichtungen und Denkmäler eine Belastung mit toxischen Konservierungsmitteln. Hochgerechnet liegt die Anzahl der Beschäftigten, die mit potenziell kontaminierten Museumsobjekten in Kontakt kommen, daher im höheren fünfstelligen Bereich. Betroffene Personengruppen sind sowohl Präparatoren, Konservatoren, Restauratoren, Beschäftigte in der Ausstellung und Beschäftigte in der Sammlung, die direkt mit dem Material arbeiten, als auch indirekt betroffene Beschäftigte, wie Aufsichts- und Reinigungskräfte. Kontaminiertes Sammlungsgut stellt damit für eine Vielzahl von Sammlungen und deren Beschäftigten eine besondere Problematik und Herausforderung dar. Hinzu kommt, dass viele der über Jahrzehnte gesammelten Objekte nicht nur mit einem einzigen Biozid belastet sind. Vielmehr zeigen Erfahrungen und Messungen verschiedene Mischungen, hervorgerufen durch periodisch wiederkehrende und teilweise auch kurative Behandlungen in der Vergangenheit. Die Folge ist eine Vielzahl an unterschiedlichen toxischen „Cocktails“ auf den Objekten. In Museen, Depots, Archiven und Bibliotheken wird in der Regel nicht direkt mit den Gefahrstoffen gearbeitet, sondern mit Objekten, die mit Gefahrstoffen behandelt wurden und als kontaminiert bezeichnet werden. Sie sind daher die Quelle der Gefährdung. Die Wirkstoffe können dann luftgetragen oder bei direktem Kontakt mit den kontaminierten Objekten inhalativ oder dermal aufgenommen werden.

## 2. Studiendesign

Im Rahmen des von der Autorin mit eingeworbenen Forschungsprojekts mit dem Titel: „Entwicklung geeigneter Empfehlungen zur Einschätzung der Gefährdung und zum Umgang mit biozidbelasteten Kulturgütern im musealen Umfeld“, welches mit Mitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert wurde (AZ 33687/01), haben das Institut und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin zusammen mit der Beratungsgesellschaft CARE FOR ART und dem Museum für Naturkunde Berlin (MfN) die beschriebene Problematik aufgegriffen. Um mögliche Aufnahmepfade der Biozide zu erkennen, wurde die Innenraumbelastung (Luft, Staub, Feinstaub in der Luft) sowie die Belastung der Beschäftigten (Blut, Urin) des MfN bestimmt. Dadurch sollten mögliche Gesundheitsgefahren und deren Aufnahmewege identifiziert und durch spezifische Handlungsanweisungen zukünftig vermieden werden.

Die Einschätzung der Exposition und Gefährdung der Mitarbeiter in kontaminierten Sammlungen erfolgte in vier Schritten (vgl. Abb 1.)

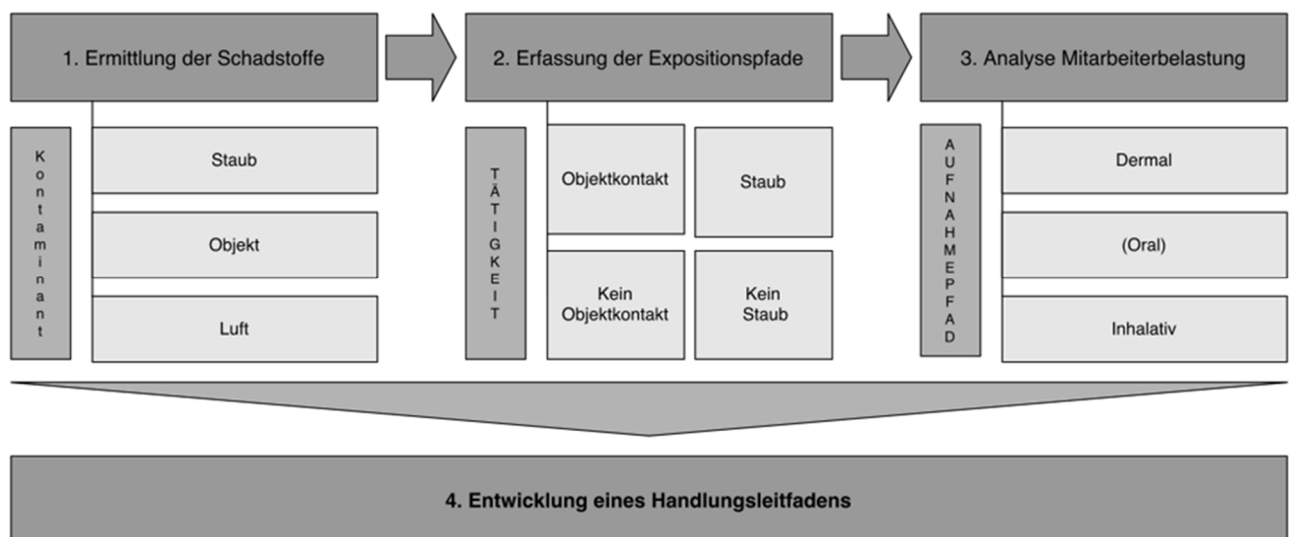


Abbildung 1: Vier Schritte zur Einschätzung der „realen“ Exposition und Gefährdung der Mitarbeiter.

- Schritt 1: Ermittlung der Schadstoffe (Staub / Objekt / Raumluft)

In den Depots und Arbeitsräumen des Museums für Naturkunde Berlin, die zahlreiche kontaminierte Exponate beherbergen, wurde die Belastung der Objektflächen und Räume mittels qualitativer und quantitativer Schadstoffanalyse an Material-, Staub- und Luftproben ermittelt.

Über den Einsatz der zerstörungsfreien portablen Röntgenfluoreszenzanalyse (p-RFA) wurde der Kontaminationsgrad von belasteten Objekten und Materialien bestimmt. Die Auswertung des Schadstoffscreenings mit p-RFA wurde mit mathematisch-statistischen Mitteln vorgenommen (Durchführung und Auswertung durch Dr. Boaz Paz, PAZ Laboratorien für Archäometrie). Erhöhte Halogenkonzentrationen und Schwermetallgehalte gaben einen Hinweis auf eine mögliche Kontamination durch Biozid-

Wirkstoffe. Über die Auswertung des erhaltenen Datenmaterials ergab sich eine Übersicht zum Status quo der Schadstoffbelastung der jeweiligen Räume. Auf dieser Grundlage konnte eine Analysenstrategie zur quantitativen Bestimmung der ausgewählten Gefahrstoffe erstellt werden.

In Räumen mit erhöhten Halogenkonzentrationen und Schwermetallgehalten wurde zusätzlich eine quantitative Bestimmung ausgewählter chlororganischer Biozide (DDT, DDE, Lindan, PCP, g-PCH) und Schwermetalle (As, Hg) in der Raumluft und im Liegestaub vorgenommen. Die Messwerte wurden bezüglich der Einhaltung vorgegebener Grenz- und Richtwerte (MAK, AGW, Innenraumrichtwerte) überprüft. Beschäftigte, die in den Räumen mit erhöhtem Belastungsgrad arbeiteten, wurden gebeten, Blut- und Urinproben abzugeben und einen Fragebogen auszufüllen (vgl. Schritt 2 und 3).

- Schritt 2: Erfassung des Expositionspfades (Tätigkeiten / Arbeitsplatzsituation)

Die Arbeitsplatz- und tätigkeitsbedingten Faktoren der Exposition wurden dokumentiert, zusammengefasst und im Hinblick auf die jeweilige Arbeitsplatzsituation und der darin durchgeführten Tätigkeiten bewertet. Wesentliche Elemente zur Charakterisierung des Gefährdungs- und Risikopotentials, sowie zur Beurteilung möglicher Expositionspfade waren dabei die Erfassung von Objektart, Lagerungsbedingungen, Raumbeladung und Raumklima. Darüber hinaus erfolgte eine Analyse und Bewertung möglicher Kontaminationswege im Rahmen betrieblicher Abläufe zur Durchführung von Ausstellungen, Leihverkehr, Dokumentation und weiterem.

Die Depot- und Arbeitsräume wurden hinsichtlich des erforderlichen Handlungsbedarfs eingeordnet und in Risikogruppen eingeteilt.

- Schritt 3: Analyse der Mitarbeiterbelastung (Aufnahmepfad)

Mit einem Fragebogen wurde die Aufenthaltsdauer, der in den Depots und Arbeitsräumen Tätigen erfragt und mittels einem Human-Biomonitoring die innere Belastung der exponierten Beschäftigten ermittelt. Dazu wurde die Zustimmung der Ethikkommission der medizinischen Fakultät der LMU München vor Beginn eingeholt.

Um eine geeignete Stichprobe zu erreichen, wurden die Beschäftigten (N=30) über die Hintergründe der Studie informiert und gebeten, freiwillig an dieser Studie teilzunehmen. Teilnehmende Beschäftigte sollten mindestens seit 6 Monaten in den belasteten Ausstellungs- bzw. Depoträumen beschäftigt sein und sich mindestens 10 Stunden pro Woche in den Räumlichkeiten aufgehalten haben. Beschäftigte, die in den letzten beiden Wochen nicht exponiert waren, wurden nicht in die Stichprobe aufgenommen. Jeder teilnehmende Beschäftigte musste eine Einverständniserklärung unterschreiben. 28 Beschäftigte willigten zu einer Teilnahme an dem Human-Biomonitoring ein.

Neben der Erfassung der zurückliegenden Exposition füllten die Beschäftigten auch einen Fragebogen über gesundheitliche Probleme im Zusammenhang mit ihrer Tätigkeit aus. Am Montagmorgen und Donnerstagnachmittag wurden Blutproben aus der Armvene entnommen. Urinproben wurden am Montagmorgen, sowie Dienstag-, Mittwoch- und Donnerstag am Nachmittag abgegeben. In den Urinproben

wurden Quecksilber (Hg) und Gesamt-Arsen (As) analysiert. Die Urinproben, die über dem Referenzwert von 15µg/L lagen, wurden einer weiteren Arsen-Spezifizierung unterzogen. In den Blutproben (Serum/Plasma) wurden die Konzentrationen von Pentachlorphenol (PCP), Lindan ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  Hexachlorcyclohexan), Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT) und seine Metaboliten (DDD, DDE) ermittelt.

Zur Beurteilung der Messergebnisse wurden für das Umgebungsmonitoring MAK-Werte, AGW und Innenraumrichtwerte (Vorsorgewerte) herangezogen. Für das Biomonitoring wurden BGW, BAT, BLW und HBM-Werte verwendet. Die Ergebnisse wurden statistisch ausgewertet und eine Korrelation von äußerer und innerer Belastung untersucht.

- Schritt 4: Entwicklung eines Handlungsleitfadens

Abschließend wurde die im Rahmen des Projektvorhabens durchgeführten modellhaften Messungen (Umgebungs- und Biomonitoring) zur Beurteilung der Exposition und Gefährdung der Beschäftigten, sowie die Ableitung geeigneter technischer, organisatorischer und persönlicher Schutzmaßnahmen für eine Handreichung zum Umgang mit kontaminierten Sammlungsgut im musealen Umfeld praxisorientiert aufbereitet und zusammengefasst (Spiegel et al., 2019).

### 3. Darstellung der Methoden und Ergebnisse

#### 3.1. Darstellung der Methoden und Ergebnisse aus dem Ambient Monitoring (Schritt 1 und 2)

Die umfassenden Ergebnisse der Schritte 1 und 2 aus dem Forschungsprojekt können in der Veröffentlichung mit dem Titel: „*Monitoring of arsenic, mercury and organic pesticides in particulate matter, ambient air and settled dust in natural history collections taking the example of the Museum für Naturkunde, Berlin*“, erschienen in dem Journal „*Environmental Monitoring and Assessment*“, nachgelesen werden. (Deering et al., 2019) Im Anschluss dargestellt ist eine gekürzte Form.

An 105 Objekten und Oberflächen wurden mit 147 Messpunkten in 17 Räumen eine p-RFA Analyse durchgeführt. Die höchsten Werte von Arsen ( $C_{\max} = 29000$  ppm) und Chlor ( $C_{\max} = 213000$  ppm) wurden in Vögeln, Fischen und Krebstieren gefunden. Quecksilber wurde in sieben Messungen mit einem  $C_{\max}$  von 800 ppm im Herbar analysiert. Anhand der p-RFA Ergebnisse wurde die Auswahl der Analyten und Räume für weitere Messmethoden getroffen. Hauptaugenmerk lag dann auf folgende Analyten: Arsen, Quecksilber, DDT (Dichlordiphenyltrichlorethan; 2,4'-DDT, 4,4'- DDT) und Metaboliten (2,4'-DDE; 4,4'-DDE; 2,4'-DDD;4,4'-DDD), HCB (Hexachlorbenzol), 3 Isomere von HCH (Hexachlorcyclohexan;  $\alpha$ -HCH,  $\beta$ - HCH,  $\gamma$ -HCH), Degradationprodukt von  $\gamma$ -HCH,  $\gamma$ -PCH (Gammapentachlorcyclohexen) und PCP (Pentachlorphenol).

14 Räume wurden anschließend für die Analyse von Liegestaub ausgewählt: Dipterenaal, Herbarium, Büro 1 - 4, Ichthyologie Trockensammlung, Crustacea Trockensammlung, Coleoptera Trockensammlung, Dipteren Trockensammlung, Ornithologische Bibliothek, Säugetiere Depot, Präparation 1 und 2, Sat-Scan Raum. Auf Basis der Ergebnisse aus der Staubanalyse wurden sechs Räume für zusätzliche

Luftmessungen ausgewählt: Ornithologische Bibliothek, Säugetiere Depot, Crustacea Trockensammlung, Herbarium, Ichthyologie Trockensammlung, Coleoptera Trockensammlung. Die Methodik des Ambient-Biomonitorings kann der Tabellen 2 entnommen werden.

Tabelle 2: Auflistung der Analyten, Probenahme und Analysemethode mit Nachweisgrenze

Substanz	Methode Probenahme	Ort Probenahme	Analytik und Nachweisgrenze
<b>Arsen</b>	Staubsauger nach VDI Guideline 4300	Boden, Regale	Grafitrohr Atomabsorptionsspektrometrie (GF-AAS) LOD = 0,025 mg/kg
	Aktive Probenahme mit Low-Volume-Sampler	Mitte des Raumes	GF-AAS LOD = 0,025 mg/kg
	Personenbezogene Probenahmepumpe	1. Arbeitsplatz 2. Atemhöhe in der Mitte des Raumes	GF-AAS LOD = 0,025 mg/kg
<b>Quecksilber</b>	Staubsauger nach VDI Guideline 4300	Boden, Regale	Flow injection mercury system (FIMS) + GF-AAS LOD = 0,001 ng/m <sup>3</sup>
	Aktive Probenahme mit Low-Volume-Sampler (PM10 Staub)	Mitte des Raumes	FIMS + GF-AAS LOD = 0,001 ng/m <sup>3</sup>
	Personenbezogene Probenahmepumpe (PM10 Staub)	1. Arbeitsplatz 2. In Atemhöhe in der Mitte des Raumes oder auf Regalen	FIMS + GF-AAS LOD = 0,001 ng/m <sup>3</sup>
<b>Gasförmiges Gesamtquecksilber</b>	Anreicherungsmodul in Echtzeit mit Goldfalle (Gold-Trap) + Atom-Absorptions-Detektor)	Mitte des Raumes	UT-3000 LOD = 0,1 ng/m <sup>3</sup>
<b>PCP</b>	Staubsauger nach VDI Guideline 4300	Boden, Regale	Gaschromatograph/ Massenspektrometrie (GC/MS) LOD = 0,1 mg/kg
	Aktive Probenahme mit Low-Volume-Sampler	Mitte des Raumes	Gaschromatograph/ Massenspektrometrie (GC/MS) LOD = 10 ng/m <sup>3</sup>
<b>γ-HCH</b>	Staubsauger nach VDI Guideline 4300	Boden, Regale	Gaschromatograph gekoppelt an einen Flammenionisationsdetektor und einen Elektroneneinfangdetektor (GC-ECD/FID) LOD = 0,5 mg/kg
	Aktive Probenahme mit Low-Volume-Sampler	Mitte des Raumes	GC/MS LOD = 10 ng/m <sup>3</sup>
<b>γ-PCH</b>	Staubsauger nach VDI Guideline 4300	Boden, Regale	GC-ECD/FID LOD = 0,5 mg/kg
	Aktive Probenahme mit Low-Volume-Sampler	Mitte des Raumes	GC-ECD/FID LOD = 10 ng/m <sup>3</sup>
<b>∑DDTs</b>	Staubsauger nach VDI Guideline 4300	Boden, Regale	GC-ECD/FID LOD = 0,1 mg/kg
	Aktive Probenahme mit Low-Volume-Sampler	Mitte des Raumes	GC-ECD/FID LOD = 10 ng/m <sup>3</sup>

Die im Museum für Naturkunde gefundenen Konzentrationen von Arsen und Quecksilber waren tendenziell höher als die der chlororganischen Verbindungen (OCP). Die maximale Konzentration von Arsen und Quecksilber im Staub betrug 3507 As mg/kg und 32 Hg mg/kg. Die maximale Konzentration von Arsen und Quecksilber als Schwebstaubpartikel in der Luft lag bei 48 As ng/m<sup>3</sup> und 1,6 Hg ng/m<sup>3</sup>. Die



maximale Konzentration der Summe von DDT im Staub lag bei 2 mg/kg und in der Luft lag die Konzentration unter der Nachweisgrenze. Die maximale PCP Konzentration im Staub lag bei 0,65 mg/kg und in der Luft bei 10 ng/m<sup>3</sup>, max.  $\gamma$ -HCH im Staub bei 130 mg/kg und in der Luft bei 320 ng/m<sup>3</sup>, max.  $\gamma$ -PCH im Staub bei 2,1 mg/kg und in der Luft bei 230 ng/m<sup>3</sup>.

Um die Expositionswege erkennen zu können, wurde die Bildung von Feinstaub an Arbeitsplätzen und während einzelner täglich auftretender typischer Arbeitstätigkeiten anhand einer Partikelnummerkonzentration (PNK, Aerosolspektrometer) in den Partikelgrößen < 10  $\mu$ m, < 2,5  $\mu$ m und < 1,0  $\mu$ m in Echtzeit gemessen. Während der Studienwoche wurden zwölf PNK-Messungen in sieben verschiedenen Räumen durchgeführt. Die PNK variierten stark zwischen den Arbeitstätigkeiten und den Räumlichkeiten. Höhere PNK wurden besonders mit Tätigkeiten wie dem Öffnen von Depotkisten, dem Lesen von alten Folianten / antiken Büchern oder dem Umgang mit taxidermierten Objekten in Verbindung gebracht. Besonders die Tätigkeiten „Öffnen von Depotkisten“ und „Umgang mit taxidermierten Objekten“ sind täglich mehrfach wiederkehrend und tragen so zu einer erhöhten arbeitsbedingten Staubexposition bei.

### 3.2. Darstellung der Methoden und Ergebnisse aus dem Human Biomonitoring (Schritt 3)

Die Ergebnisse des Schrittes 3 aus dem Forschungsprojekt können in der Veröffentlichung mit dem Titel: „*Exposure assessment of toxic metals and organochlorine pesticides among employees of a natural history museum*“, erschienen in dem Journal „*Environmental Research*“, nachgelesen werden. (Deering et al., 2020) Im Anschluss dargestellt ist eine gekürzte Form der Ergebnisse.

Schritt 3 wurde durchgeführt, um die Exposition der Beschäftigten des Naturhistorischen Museums Berlin gegenüber toxischen (Halb-)Metallen und Organochlor-Pestiziden beurteilen zu können. Während einer, zeitgleich zum Ambient Monitoring (Schritt 1 + 2), durchgeführten Studienwoche wurden von jedem der 28 Teilnehmer\*innen (8 Frauen und 20 Männer zwischen 27 und 65 Jahre; Mittelwert [SD] = 49.4 [10.6] Jahre) zwei Blutproben (n=54, zwei fehlend) entnommen und fünf Urinproben (n=137, drei fehlend) bereitgestellt. Die genaue Auflistung des Vorgangs sowie die jeweiligen Analytik-Methoden mit den Nachweisgrenzen des Human-Biomonitorings kann der Tabelle 3 entnommen werden.

Tabelle 3: Auflistung der Analyten, Probenahme und Analysemethoden mit Nachweisgrenze

Analyt	Methode Probenahme	Analytik und Nachweisgrenze
<b>Gesamtarsen</b>	Urin (insgesamt 5 pro Proband, Montag Morgen und dann jeweils Mo – Do Nachmittag)	Grafitrohr Atomabsorptionsspektrometrie (GF-AAS) LOD 0,2 $\mu$ g/l
<b>As 3+</b>	Urin (insgesamt 5 pro Proband, Montag Morgen und dann jeweils Mo – Do Nachmittag)	Hochleistungsflüssigkeitschromatographie in Kombination mit induktiv gekoppelter Plasmamassenspektrometrie (HPLC-ICP-MS) LOD 0,7 $\mu$ g/l
<b>As 5+</b>	Urin (insgesamt 5 pro Proband, Montag Morgen und dann jeweils Mo – Do Nachmittag)	HPLC-ICP-MS LOD 0,7 $\mu$ g/l
<b>DMA</b>	Urin (insgesamt 5 pro Proband, Montag Morgen und dann jeweils Mo – Do Nachmittag)	HPLC-ICP-MS LOD 0,7 $\mu$ g/l
<b>MMA</b>	Urin (insgesamt 5 pro Proband, Montag Morgen und dann jeweils Mo – Do Nachmittag)	HPLC-ICP-MS LOD 0,7 $\mu$ g/l
<b>AsB</b>	Urin (insgesamt 5 pro Proband, Montag Morgen und dann jeweils Mo – Do Nachmittag)	HPLC-ICP-MS LOD 0,7 $\mu$ g/l
<b>Quecksilber</b>	Urin (insgesamt 5 pro Proband, Montag Morgen und dann jeweils Mo – Do Nachmittag)	FIMS-GF-AAS 0,1 $\mu$ g/l

<b>HCB</b>	Blutserum (insgesamt 2 pro Proband, Montag Morgen und Donnerstag Nachmittag)	GC/MS 0,1 µg/l
<b>Alpha-HCH</b>	Blutserum (insgesamt 2 pro Proband, Montag Morgen und Donnerstag Nachmittag)	GC/MS 0,1 µg/l
<b>Beta-HCH</b>	Blutserum (insgesamt 2 pro Proband, Montag Morgen und Donnerstag Nachmittag)	GC/MS 0,1 µg/l
<b>Gamma-HCH</b>	Blutserum (insgesamt 2 pro Proband, Montag Morgen und Donnerstag Nachmittag)	GC/MS 0,1 µg/l
<b>4,4' DDT</b>	Blutserum (insgesamt 2 pro Proband, Montag Morgen und Donnerstag Nachmittag)	GC/MS 0,1 µg/l
<b>4,4' DDE</b>	Blutserum (insgesamt 2 pro Proband, Montag Morgen und Donnerstag Nachmittag)	GC/MS 0,1 µg/l
<b>PCP</b>	Blutserum (insgesamt 2 pro Proband, Montag Morgen und Donnerstag Nachmittag)	GC/MS 0,1 µg/l

Mittels eines Fragebogens wurden zusätzlich Informationen über die individuelle Arbeitstätigkeit und expositionsbezogene Faktoren wie Staubentwicklung durch die Arbeit, Verwendung von persönlicher Schutzausrüstung sowie ein Ernährungstagebuch erhoben. Informationen über die Aufnahme von Fisch und Meeresfrüchten sowie über die Amalgamfüllungen waren ebenfalls verfügbar.

Die Ergebnisse der Studie zeigten, dass die Beschäftigten Konzentrationen von Arsen (Median von 6,4 µg/l; Maximum von 339 µg/l), Quecksilber (Median von 0,20 µg/l; Maximum von 2,6 µg/l), β-HCH (Median von 0,12 µg/l; Maximum von 0,39 µg/l) und 4,4'-DDT (Median von 0,05 µg/l; Maximum von 0,82 µg/l) aufwiesen.

33 (22%) der Urinproben von 11 Teilnehmern zeigten eine höhere Arsenbelastung als der Referenzwert von 15µg/l (ohne Fischverzehr 28h vor der Probenentnahme, Bekanntmachung des Umweltbundesamtes, 2003). Diese wurden einer gesonderten Arsenspeziesanalyse mit den Analyten dreiwertiges Arsen (As<sup>3+</sup>), fünfwertiges Arsen (As<sup>5+</sup>), Arsenobetain (AsB), Monomethylarsonsäure (MMA) und Dimethylarsonsäure (DMA) unterzogen. Der Median von As<sup>3+</sup> und As<sup>5+</sup> lagen bei 0,20 µg/l und reichten von <LOD bis 0,40 µg/l in beiden Arten. Die mittleren Konzentrationen der organischen As-Spezies betragen 27,3 µg/l für AsB (Bereich: 1,7 µg/l und 295 µg/l), 6,9 µg/l für DMA (Bereich: 2,2 µg/l und 41,9 µg/l) und 0,40 µg/l für MMA (Bereich: 0,20 µg/l und 2,8 µg/l). Tabelle 4 zeigt die Ergebnisse aus der Arsenspeziesanalyse.

### 3.3. Entwicklung einer Handlungsanleitung für Arbeiten in kontaminierten Bereichen (Schritt 4)

Schritt 4 war die Herausgabe einer Handlungsanleitung für Arbeiten in kontaminierten Bereichen. Die Handlungsanleitung ist im internationalen deutschsprachigen Buchhandel erhältlich (Softcover, 108 Seiten, ISBN: 978-3962381479 und als Aktualisierungslieferung im Loseblattwerk, Handbuch der betriebsärztlichen Praxis, ISBN: 978-3-609-10230-6).

### 3.4. Diskussion

Die Ergebnisse aus dem p-RFA-Screening (s. Kapitel 3.1) zeigten eine umfangreiche Belastung mit Arsen, Quecksilber und Chlorverbindungen an den Messpunkten. Das anschließende Ambient-Monitoring bestätigte den Einsatz der Pestizide als Konservierungsmittel. Die Konzentrationen der genannten

Verbindungen bewegten sich jedoch im Vergleich zu anderen Studien, die an europäischen Museen durchgeführt wurden, im unteren Konzentrationsbereich (Marcotte, 2014; Marcotte, 2017; Oyarzun, 2007; Briggs, 1983). Dennoch überschritten 12 % der untersuchten Proben die Referenzwerte mehrerer Einrichtungen mit Abweichungen um bis zu einem Faktor von 1000. Besonders die Arsenbelastung in Staub- und Luftproben könnten ein gesundheitsgefährdendes Expositionsszenario für Beschäftigte darstellen, die in diesen Bereichen arbeiten und forschen.

Ein weiteres interessantes Ergebnis sind die hohen Werte von  $\gamma$ -PCH in der Luft. Der Median der  $\gamma$ -PCH-Konzentrationen lag bei 125 ng/m<sup>3</sup> (Bereich: < LOD - 230 ng/m<sup>3</sup>). Die höchsten Werte wurden mit Abstand in der Coleoptera Trockensammlung gefunden.  $\gamma$ -PCH ist auch ein Abbauprodukt von  $\gamma$ -HCH. Die gemessenen Werte von  $\gamma$ -HCH und  $\gamma$ -PCH in der Luft können als toxikologisch relevant angesehen werden, da die WHO International Agency for Research on Cancer  $\gamma$ -HCH als krebserregend für den Menschen (Gruppe 1) einstuft. Aufgrund der Ähnlichkeit der chemischen Struktur von  $\gamma$ -PCH zu  $\gamma$ -HCH kann davon ausgegangen werden, dass von  $\gamma$ -PCH ein zusätzliches krebserzeugendes Risiko ausgehen kann.

In dem zeitgleich durchgeführten Human-Biomonitoring konnte keine gesundheitsgefährdende arbeitsbedingte Belastung während der Studienwoche nachgewiesen werden. Obwohl alle Konzentrationen unter den etablierten Vergleichswerten lagen, konnten multivariate Regressionsmodelle zeigen, dass die Beschäftigten beim Umgang mit Museumsobjekten den genannten Verbindungen ausgesetzt waren. Besonders hervorzuheben ist an dieser Stelle, dass bei den Teilnehmer\*innen im Vergleich zu anderen Studien verhältnismäßig hohe Konzentrationen von anorganischem Arsen, insbesondere As<sub>5+</sub>, im Urin nachgewiesen worden sind (s. Tabelle 4). Obwohl jede der genannten anorganischen As-Spezies (As<sub>3+</sub> und As<sub>5+</sub>) den von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (2018) festgelegten Biologischen-Arbeitsstoff-Referenzwert von 0,50 µg/l unterschritten, ist in Tabelle 4 zu sehen, dass die Teilnehmer dieser Studie tendenziell mehr As<sub>5+</sub> im Urin aufweisen wie in anderen vergleichbaren Studien (Heitland & Köster, 2008; Mithander, 2017). Dieser Umstand kann nicht anhand der individuellen Ernährung erklärt werden. Zusätzlich zu erwähnen ist, dass As<sub>B</sub> bei 58% der untersuchten Proben die Referenzwerte (95% Perzentile) von 23 µg/l des Instituts und Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, IPASUM FAU, während für DMA 24% der Proben den auf 10 µg/l festgelegten BAR überschritten.

Tabelle 4: Konzentrationen der Arsenspezies im Urin (in µg/l Urin) im Vergleich zu anderen Studien in Deutschland. Aus: Deering et al., (2020)

		Arsenspezies				
		As 3+	As 5+	DMA	MMA	AsB
Diese Studie (Beschäftigte im MfN N = 11)	<b>Positive Befunde in %</b>	<b>35</b>	<b>58</b>	<b>100</b>	<b>93</b>	<b>100</b>
	Median	0.2	0.2	6.9	0.4	27.3
	Min	< LOD	< LOD	2.2	2.2	1.7
	Max	0.4	0.4	41.9	41.9	295.0
	LOD	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
Mithander et al. (2017)	<b>Positive Befunde in %</b>	<b>20% (&gt; LOQ)</b>		<b>100</b>	<b>40</b>	<b>NA</b>
	Median	NA	NA	NA	NA	NA

(Beschäftigte im Museum arbeiten mit taxidermierten Tierhäuten, N = 10)	Min	< LOQ	< LOQ	3.1	< LOQ	NA
	Max	2.3	0.3	25.0	9.8	NA
	LOD / LOQ	0.07 / 0.2	0.07 / 0.2	00.07 / 0.2	0.07 / 0.2	NA
Heitland und Köster (2008) Norddeutschland, Erwachsene, N = 82)	<b>Positive Befunde in %</b>	<b>73</b>	<b>31</b>	<b>99</b>	<b>89</b>	<b>88</b>
	Median	NA	NA	NA	NA	NA
	Min	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ	< LOQ
	Max	2.3	0.6	18	2.7	23
	LOD / LOQ	NA / 0.1	NA / 0.1	NA / 0.1	NA / 0.1	NA / 0.1
	Referenzwerte (µg/l Urin)	0.5**	0.5**	10**	2**	23*

\* Dieser Referenzwert wurde am IPASUM FAU ermittelt

\*\* Biologischer Arbeitsstoff-Referenzwerte (BAR), bezogen von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (2018)

NA = nicht vorhanden; < LOD = unter dem Detektionslimit

Da auch bei dem Ambient-Monitoring erhöhte Arsenbelastungen im Staub und der Raumluft nachgewiesen worden sind, kann nicht ausgeschlossen werden, dass eine arbeitsbedingte Exposition stattgefunden hat.

### 3.5. Schlussfolgerung

Diese Studie hat gezeigt, dass die Inhaltsstoffe in Staub und Luft ein Gesundheitsrisiko für die Beschäftigten darstellen können. Arsen, Quecksilber und bestimmte OCPs in Blut- bzw. Urinproben der Beschäftigten standen statistisch signifikant in Zusammenhang mit bestimmten arbeitsbedingten Faktoren wie das Tragen von Arbeitsschutzmaßnahmen oder stark staubender Tätigkeiten. So ist es wahrscheinlich, dass die nachgewiesenen toxischen Konservierungsmittel in Staub und Raumluft bei bestimmten Tätigkeiten von den Beschäftigten aufgenommen werden können. In Anbetracht der potenziellen Gesundheitsrisiken durch die möglichen Expositionen und das noch unzureichende Wissen über mögliche Synergie- und Low-Dose-Effekte sollten unbedingt Arbeitsschutzmaßnahmen durchgeführt werden.

Dank dieser Studie erhielt das Museum eine solide Datenbasis bezüglich des Ist-Zustandes und der Risiken, die von den toxischen Konservierungsmitteln, während dem täglichen Arbeitsgeschehen ausgehen können. So konnte innerhalb des Forschungsprojektes an dem Museum für Naturkunde, in enger Zusammenarbeit mit den Beschäftigten, Arbeitsschutzmaßnahmen umgesetzt und etabliert werden. Zusätzlich konnte ein Leitfaden für den Umgang mit kontaminierten Objekten für Museen, Bibliotheken und Archiven entwickelt werden.

## 4. Eigenanteil der Arbeit

Die Doktorandin erarbeitete zusammen mit Frau Dr. Spiegel die Forschungs idee und die Grundkonzeption des Forschungsprojektes. Während der Durchführung des Forschungsprojektes war die Doktorandin maßgeblich mit dem Ethikantrag, der Konzeption, der Durchführung und der Bewertung des Umgebungs- sowie des Humanbiomonitorings betraut. Des Weiteren war sie mit der Probandenkommunikation, der Verschriftlichung der Ergebnisse sowie mit anderen Öffentlichkeitsarbeiten wie die Vermittlung der Ergebnisse an die Probanden bzw. Kooperationspartner\*innen und Erarbeitung des Handlungsleitfadens beauftragt. Den genauen Arbeitsanteil in Inhalt und Umfang kann der Tabelle 5 entnommen werden.

Tabelle 5: Eigenanteil der Arbeit in Inhalt und Umfang

Eigenanteil (Inhalt und Umfang)
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Forschungs idee (70%)</li> <li>• Projektplanung (40%)</li> <li>• Einwerbung der Drittmittel (50%)</li> <li>• Ethikantrag (100%)</li> <li>• Probandenkommunikation (100%)</li> <li>• Entwicklung Fragebogen (70%)</li> <li>• Planung Studienwoche (90%)</li> <li>• Betreuung Probanden während der Studienwoche (60%)</li> <li>• Probenahme Staub, Luft (70%)</li> <li>• Vorbereitung Proben (60%)</li> <li>• Anorganische Analytik (20%)</li> <li>• Statistik (50%)</li> <li>• Schlussfolgerung Statistik (50%)</li> <li>• Öffentlichkeitsarbeit (80%)</li> <li>• Veröffentlichungen Bücher (50%)</li> <li>• Verfassung Manuskripte (100%)</li> <li>• Überarbeitung Manuskripte (60%)</li> </ul>

### 4.1. Arbeitsanteil Ko-Autoren Veröffentlichung I

Tabelle 6: Arbeitsanteil Ko-Autor\*innen 1. Veröffentlichung

Ko-Autor	Arbeitsanteil (Inhalt und Umfang)
Elise Spiegel	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projektplanung 30%</li> <li>• Betreuung Kooperationspartner 20%</li> <li>• Überarbeitung Manuskript 10%</li> </ul>
Christiane Quaiser	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bereitstellung und Zugang der Untersuchungsobjekte</li> <li>• Unterstützung bei spezifischen Fragen zu naturhistorischen Sammlungen (Daten, Informationen)</li> </ul>
Dennis Nowak	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projektplanung 10%</li> <li>• Betreuung Kooperationspartner 20%</li> <li>• Überarbeitung Manuskript 10%</li> </ul>
Rudolf Schierl	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projektplanung 10%</li> <li>• Probenahme 30%</li> <li>• Anorganische Analytik 80%</li> </ul>
Stephan Böse-O'Reilly	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Projektplanung 10%</li> <li>• Überarbeitung Manuskript 10%</li> </ul>
Mercé Garí	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Statistik 50%</li> <li>• Schlussfolgerung Statistik 50%</li> <li>• Überarbeitung Manuskript 10%</li> </ul>

## 4.2. Arbeitsanteil Ko-Autoren Veröffentlichung II

Tabella 7: Arbeitsanteil Ko-Autor\*innen 2. Veröffentlichung

<b>Ko-Autor</b>	<b>Arbeitsanteil (Inhalt und Umfang)</b>
Elise Spiegel	<ul style="list-style-type: none"><li>• Projektplanung 30%</li><li>• Durchführung Probennahme 20%</li><li>• Überarbeitung Manuskript 10%</li></ul>
Christiane Quaisser	<ul style="list-style-type: none"><li>• Schaffung der Grundvoraussetzung zur Probenentnahme im MfN</li><li>• Unterstützung bei spezifischen Fragen zu naturhistorischen Sammlungen (Daten, Informationen)</li></ul>
Dennis Nowak	<ul style="list-style-type: none"><li>• Projektplanung 10%</li><li>• Betreuung Probanden 20%</li><li>• Überarbeitung Manuskript 10%</li></ul>
Stefan Rakete	<ul style="list-style-type: none"><li>• Projektplanung 10%</li><li>• Anorganische Analytik 80%</li></ul>
Mercé Garí	<ul style="list-style-type: none"><li>• Statistik 50%</li><li>• Schlussfolgerung Statistik 50%</li><li>• Überarbeitung Manuskript 10%</li></ul>
Stephan Böse-O'Reilly	<ul style="list-style-type: none"><li>• Projektplanung 10%</li><li>• Überarbeitung Manuskript 10%</li><li>• Betreuung der Probanden 20%</li></ul>

## 5. Zusammenfassung

Museale Sammlungen und kulturhistorisch wichtige Gebäude wurden in der Vergangenheit präventiv und kurativ mit potenziell toxischen Substanzen konserviert. Viele der damals verwendeten Substanzen sind heute als karzinogen, mutagen, teratogen und / oder reproduktionstoxisch bekannt und können daher ein potentiell Gesundheitsrisiko für die Beschäftigten während ihrer täglichen Arbeit darstellen. Im Rahmen eines Forschungsprojektes, welches mit Mitteln der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert wurde (AZ 33687/01), wurde sich mit den beschriebenen Problematiken auseinandergesetzt. Um mögliche Aufnahmepfade der Biozide zu erkennen, wurde die Innenraumbelastung (Luft, Staub, Feinstaub in der Luft) sowie die Belastung der Beschäftigten (Blut, Urin) eines großen naturhistorischen Museums bestimmt.

Anhand des Umgebungsmonitorings konnte gezeigt werden, dass Objekte an dem Standort des Kooperationspartners Museum für Naturkunde Berlin eine Ursache für eine gesundheitsgefährdende Exposition während einer Tätigkeit mit den Objekten darstellen können. Weiter bestätigten die Analysen eine weitreichende Verwendung von Arsen, Quecksilber und Lindan als Konservierungsmittel. In dem begleitenden Human-Biomonitoring bei 28 Beschäftigten konnten keine Überschreitungen von toxikologisch relevanten biologischen Beurteilungs- bzw. Grenzwerten festgestellt werden. Jedoch wurden bei den Beschäftigten im Vergleich zur Normalbevölkerung relativ hohe Konzentrationen von anorganischem Arsen, insbesondere der Spezies As<sup>5+</sup>, im Urin festgestellt. Darüber hinaus korrelierten verschiedene arbeitsbedingte Faktoren, z.B. das Arbeiten ohne Schutzhandschuhe und eine starke Staubentwicklung während der Arbeit, signifikant mit der Konzentration von Arsen, Quecksilber und ausgewählte Organochlor-Pestiziden in Urin bzw. Blut. Angesichts der potenziellen Gesundheitsrisiken, die durch die Exposition gegenüber diesen Stoffen bestehen, und der mangelnden Kenntnis möglicher Kombinationseffekte, wurde gemeinsam mit den Beschäftigten des Museums für Naturkunde Wege zur Implementierung von Arbeitsschutzmaßnahmen erarbeitet. Die Ergebnisse des Umgebungsmonitorings wurden in dem Journal "Environmental Monitoring and Assessment" unter dem Titel „*Monitoring of arsenic, mercury and organic pesticides in particulate matter, ambient air and settled dust in natural history collections taking the example of the Museum für Naturkunde, Berlin*“ veröffentlicht. Die Ergebnisse des Biomonitorings wurden in dem Journal "Environmental Research" unter dem Titel „*Exposure assessment of toxic metals and organochlorine pesticides among employees of a natural history museum*“ veröffentlicht.

## 6. Summary

Museum collections and buildings of historical and cultural importance have been preserved preventively and curatively with potentially toxic substances in the past. Many of the substances used at this time are now known to be carcinogenic, mutagenic, teratogenic and / or toxic for reproduction and can therefore pose a potential health risk to employees during their daily work. As part of a research project that was funded by the German Federal Environmental Foundation (DBU) (AZ 33687/01), the problems described were dealt with. In order to identify possible absorption pathways for the biocides, the indoor pollution (air, dust, fine dust in the air) and the contamination load of the employees (blood, urine) of a large natural history museum were analysed.

Based on the environmental monitoring, it was shown that objects at the Museum für Naturkunde Berlin can be a cause of exposure to toxic substances during work with the objects. The analysis also confirmed the extensive use of arsenic, mercury and lindane as preservatives. In the accompanying human biomonitoring of 28 employees, no exceedances of toxicologically relevant biological assessment or limit values were found. However, relatively high concentrations of inorganic arsenic, especially of the species As (V), were found in the urine of the employees compared to the general population. In addition, various work-related factors, such as not using gloves and high dust formation during work, correlated significantly with the concentration of arsenic, mercury and selected organochlorine pesticides in urine or blood, respectively. In view of the potential health risks from exposure to these substances and the lack of knowledge of possible combination effects, ways of implementing occupational safety measures were developed together with the employees of the Museum für Naturkunde. The results of the environmental monitoring were published in the journal "Environmental Monitoring and Assessment" under the title "*Monitoring of arsenic, mercury and organic pesticides in particulate matter, ambient air and settled dust in natural history collections taking the example of the Museum für Naturkunde, Berlin*". The results of the biomonitoring were published in the journal "Environmental Research" under the title "*Exposure assessment of toxic metals and organochlorine pesticides among employees of a natural history museum*".



## 7. Veröffentlichung I

Titel:

Monitoring of arsenic, mercury and organic pesticides in particulate matter, ambient air and settled dust in natural history collections taking the example of the Museum für Naturkunde, Berlin

Journal:

Environmental Monitoring and Assessment

Referenz:

Deering K, Spiegel E, Quaisser C, Nowak D, Schierl R, Bose-O'Reilly S, Garí M. (2019). Monitoring of arsenic, mercury and organic pesticides in particulate matter, ambient air and settled dust in natural history collections taking the example of the Museum für Naturkunde, Berlin. Environ Monit Assess. 191(6):375. doi: 10.1007/s10661-019-7495-z. PMID: 31104185

Link:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-019-7495-z>

## 8. Veröffentlichung II

Titel:

Exposure assessment of toxic metals and organochlorine pesticides among employees of a natural history museum

Journal:

Environmental Research

Referenz:

Deering K, Spiegel E, Quaisser C, Nowak D, Rakete S, Garí M, Bose-O'Reilly S. (2020) Exposure assessment of toxic metals and organochlorine pesticides among employees of a natural history museum. *Environmental Research*. 184:109271. doi: 10.1016/j.envres.2020.109271. Epub 2020 Feb 22. PMID: 32143026. doi: 10.1016/j.envres.2020.109271

Link:

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109271>

## 9. Literaturverzeichnis

- Andreas, H. (1996). *Schweinfurter Grün – das brillante Gift*. Weinheim: WILEY-VCH Verlag GmbH.
- Arndt, W. (1932a). Die Berufskrankheiten an naturwissenschaftlichen Museen I. *Museumskunde*, 4(2), 47 - 66.
- Arndt, W. (1932b). Die Berufskrankheiten an naturwissenschaftlichen Museen II [Occupational diseases at natural history museums II]. [Occupational diseases at natural science museums II]. *Museumskunde*, 4(2), 103 - 117.
- Briggs, D., Sell, P., Block, M., & I'ons, R. (1983). Mercury vapour: A health hazard in herbaria. *New phytologist*, 94(3), 453-457.
- Brown, T. (1870). *The Taxidermist's Manual Or The Art of Collecting, Preparing, and Preserving Objects of Natural History: Designed for the Use of Travellers, Conservators of Museums and Private Collectors*: A. Fullarton & Company.
- Charlton, A., Hutton, S., Domoney, K., & Uden, J. (2014). *Pesticide residues on the Cook-Voyager Collection as the Pitt Rivers Museum, University of Oxford*. Paper presented at the Icom-CC 17th Triennial Conference Melbourne, International Council of Museums, Paris.
- Chevallier, A. (1860). *Untersuchungen über die Gefahren, welche das Schweinfurter Grün, das Arsenikgrün, das arseniksaure Kupfer durch Anwendung in den Geweben verursachen: sowie über die Mittel, diese Gefahren zu verhindern*: Voigt.
- Cross, P. S., & Odegaard, N. (2009). The inherent levels of arsenic and mercury in artifact materials. *Collection Forum*, 23(1-2), 23-35.
- Deering, K. (2015). *Die Analyse chlororganischer Pestizide in der restauratorischen Praxis - Bedarfserfassung, Definition eines Prozessplanes und Evaluation der Gaschromatografie-Ionenmobilitätsspektrometrie als analytische Methode [The analysis of chlorinated organic pesticides in the field of restorative practice - needs assessment, definition of a process plan and evaluation of gas chromatography ion mobility spectrometry as an analytical method]*. (Master of Arts in Conservation-Restoration Master-Thesis). Hochschule der Künste Bern, Bern.
- Deering K, Spiegel E, Quaisser C, Nowak D, Schierl R, Bose-O'Reilly S, Garí M. (2019). Monitoring of arsenic, mercury and organic pesticides in particulate matter, ambient air and settled dust in natural history collections taking the example of the Museum für Naturkunde, Berlin. *Environ Monit Assess*. 191(6):375. doi: 10.1007/s10661-019-7495-z. PMID: 31104185.
- Deering K, Spiegel E, Quaisser C, Nowak D, Rakete S, Garí M, Bose-O'Reilly S. (2020) Exposure assessment of toxic metals and organochlorine pesticides among employees of a natural history museum. *Environmental Research*. 184:109271. doi: 10.1016/j.envres.2020.109271. Epub 2020 Feb 22. PMID: 32143026. doi: 10.1016/j.envres.2020.109271
- des Umweltbundesamtes, Bekanntmachung, 2003. Stoffmonographie Arsen - Referenzwerte für Urin [Monograph Arsenic - reference value for urine]. *Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforsch. - Gesundheitsschutz* 12, 1098–1106.
- Deutsche Forschungsgemeinschaft. (2018). *MAK-und BAT-Werte-Liste 2018: Ständige Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe [List of MAK and BAT Values 2018: Permanent Senate Commission for the examination of hazardous substances]* (Vol. 54): Wiley-VCH Verlag GmbH Co. KGaA.

- Gribovich, A., Lacey, S., Franke, J., & Hinkamp, D. (2013). Assessment of arsenic surface contamination in a museum anthropology department. *J Occup Environ Med*, 55(2), 164-167. doi:10.1097/JOM.0b013e3182717e51
- Goldberg, L. (1996). A history of pest control measures in the anthropology collections, National Museum of Natural History, Smithsonian Institution. *Journal of the American Institute for Conservation*, 35(1), 23-43.
- Hagemeyer, O., Weiß, T., Marek, R., & Brüning, T. (2015). Harnblasenkrebs durch Arsen bei einer Museumsrestauratorin - Einsatz von Konservierungsmitteln als wahrscheinliche Ursache. *IPA-Journal*, 4.
- Heitland, P., & Köster, H. D. (2008). Fast Determination of Arsenic Species and Total Arsenic in Urine by HPLC-ICP-MS: Concentration Ranges for Unexposed German Inhabitants and Clinical Case Studies. *Journal of analytical toxicology*, 32(4), 308-314.
- Holt, E., Audy, O., & Booij, P. (2017). Organochlorine pesticides in the indoor air of a theatre and museum in the Czech Republic: Inhalation exposure and cancer risk. *Science of The Total Environment*, 609, 598-606.
- Krooß, J., & Stolz, P. (1993). Innenraumbelastung von Museumsmagazinen durch biozide Wirkstoffe [Indoor exposure of museum magazines due to biocidal agents]. *Staub. Reinhaltung der Luft*, 53(7-8), 301-305.
- Marcotte, S., Estel, L., & Leboucher, S. (2014). Occurrence of organic biocides in the air and dust at the Natural History Museum of Rouen, France. *Journal of Cultural Heritage*, 15(1), 68-72.
- Marcotte, S., Estel, L., Minchin, S., Leboucher, S., & Le Meur, S. (2017). Monitoring of lead, arsenic and mercury in the indoor air and settled dust in the Natural History Museum of Rouen (France). *Atmospheric Pollution Research*, 8(3), 483-489.
- Martin, P. L. (1879). Die Anwendung des Arseniks und anderer Stoffe bei der Natrualien-Präparation in gesundheitlicher Beziehung. *Ornithologisches Centralblatt. Organ für Wissenschaft und Verkehr. Nachrichtenblatt des gesammten Vereins-Wesens und Anzeiger für Sammler, Züchter und Händler*, 5(Beiblatt zum Journal für Ornithologie), 33 - 35.
- Martin, P. L. (1886). *Die Praxis der Naturgeschichte. Ein vollständiges Lehrbuch über das Sammeln lebender und toter Naturkörper; deren Beobachtung, Erhaltung und Pflege im freien und gefangenen Zustande; Konservation, Präparation und Aufstellung in Sammlungen* (Vol. 3). Weimar: Voigt, Bernhard Friedrich.
- Mithander, A., Göen, T., & Felding, G. (2017). Assessment of museum staff exposure to arsenic while handling contaminated exhibits by urinalysis of arsenic species. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, 12(1), 26-28.
- Naumann, J. F. (1848). *Taxidermie oder die Lehre Thiere aller Klassen am einfachsten und zweckmässigsten für Naturaliensammlungen auszustopfen und aufzubewahren*. Halle: Schwetschke.
- Odegaard, N., Smith, D. R., Boyer, L. V., & Anderson, J. (2006). Use of handheld XRF for the study of pesticide residues on museum objects. *Collection Forum*, 20(1-2), 42-48.
- Omstein, L. (2010). *Poisonous heritage: pesticides in museum collections*. (Master of Arts), Seton Hall University.
- Oyarzun, R., et al. (2007). Mercury in air and plant specimens in herbaria: A pilot study at the MAF Herbarium in Madrid (Spain). *Science of The Total Environment* 387(1): 346-352.

Palmer, P. T., Martin, M., Wentworth, G., Caldararo, N., Davis, L., Kane, S., & Hostler, D. (2003). Analysis of pesticide residues on museum objects repatriated to the Hupa tribe of California. *Environ Sci Technol*, 37(6), 1083-1088.

Rowley, J. (1925). *Taxidermy and Museum Exhibition*: D. Appleton.

Schieweck, A., Delius, W., Siwinski, N., Vogtenrath, W., Genning, C., & Salthammer, T. (2007). Occurrence of organic and inorganic biocides in the museum environment. *Atmospheric Environment*, 41(15), 3266-3275.

Seifert, S. A., Boyer, L. V., Odegaard, N., Smith, D. R., & Dongoske, K. E. (2000). Arsenic contamination of museum artifacts repatriated to a Native American tribe. *Jama*, 283(20), 2658-2659.

Simmons, S. W. (1959). The use of DDT insecticides in human medicine. In P. Müller (Ed.), *DDT Insecticides - Vol II - Human and Veterinary Medicine* (Vol. Vol II, pp. S. 249 - 502). Basel und Stuttgart: Birkhäuser Verlag.

Simon, C. (1999). *DDT: Kulturgeschichte einer chemischen Verbindung*: Christoph Merian Verlag.

Spiegel, E. (2009). *Emissionen im Museum: eine empirische Studie zum aktuellen Stand und zum Umgang mit Schadstoffen in deutschen Sammlungen*: University of Bamberg Press.

Spiegel, E., Deering, K., Quaisser, C., Böhm, S., Nowak, D., Schierl, R., Bose-O`Reilly, S. (2019). Handreichung zum Umgang mit kontaminiertem Sammlungsgut [Guidance on dealing with contaminated collection items]. In H. C. Broding (Ed.), *Handbuch der betriebsärztlichen Praxis* (Vol. 74. März 2019). Landsberg/Lech: ecomed Medizin.

Sirois, P. J., Poulin, J., & Stone, T. (2010). *Detecting pesticide residues on museum objects in Canadian collections—A summary of surveys spanning a twenty-year period*. Paper presented at the Collection Forum.

Werner, S., Nies, E., Peters, S., Pitzke, K., Hitz, J., Kraus, A., Franzen, C. (2019). Arsenhaltige Farben am Kulturerbe: Schweinfurter Grün in historischer Wandgestaltung. *Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft*, 79(3), 10.

## 10. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Vier Schritte zur Einschätzung der „realen“ Exposition und Gefährdung der Mitarbeiter. 13

## 11. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Auswahl möglicher Konservierungsstoffe.....	11
Tabelle 2: Auflistung der Analyten, Probenahme und Analyseverfahren mit Nachweisgrenze .....	16
Tabelle 3: Auflistung der Analyten, Probenahme und Analyseverfahren mit Nachweisgrenze .....	17
Tabelle 4: Konzentrationen der Arsenspezies im Urin (in µg/l Urin) im Vergleich zu anderen Studien in Deutschland. Aus: Deering et al., (2020) .....	19
Tabelle 5: Eigenanteil der Arbeit in Inhalt und Umfang .....	21
Tabelle 6: Arbeitsanteil Ko-Autoren 1. Veröffentlichung .....	21
Tabelle 7: Arbeitsanteil Ko-Autoren 2. Veröffentlichung .....	22

## 12. Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen Menschen danken, die mich bei der Bearbeitung meiner Dissertation unterstützt haben.

Mein Dank gilt zunächst meinem Doktorvater, Herrn PD Dr. Stephan Böse-O'Reilly, für die Betreuung dieser Arbeit sowie für die freundliche Hilfe und der immer konsequenten Unterstützung. Insbesondere der konstruktive Austausch und die regelmäßigen Gespräche auf fachlicher und persönlicher Ebene waren stets eine große Hilfe für mich und haben mich oftmals ermutigt und aufgebaut. Auch danke ich Frau Dr. Merce Gari für Ihre Bereitschaft mir ständig und durchgehend zu jeder Tageszeit für wissenschaftliche Fragestellungen zur Seite gestanden zu haben. Auch für ihre intensiven Korrekturen und aufbauende Rückmeldungen möchte ich mich herzlich bedanken.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Dennis Nowak, Frau Dr. Elise Spiegel, Frau Dr. Christiane Quaisser, Herrn Dr. Rudolf Schierl und Herrn Dr. Stefan Rakete für die wissenschaftliche Zusammenarbeit während unseres Forschungsprojektes. Diese war stets geprägt von einer sehr angenehmen Atmosphäre, wertvollen Diskussionen und einer umfangreichen gegenseitigen Unterstützung. In diesem Rahmen möchte ich mich auch bei dem gesamten Labor-Team der AG Analytik und Monitoring für die Unterstützung bei der Durchführung des Monitorings und der Bearbeitung des umfangreichen Probenmaterials bedanken.

Auch bedanken möchte ich mich bei meiner Forschungsgruppe Globale Umwelt-Gesundheit, die mir mit viel Humor und immer lustigen und netten Gesprächen beigestanden haben.

Meinen Eltern Pele und Ronny Lindner, möchte ich ganz besonders herzlich danken für die aufmerksame, liebevolle und vielseitige Unterstützung während der intensiven Zeit der Promotion.

Zuletzt möchte ich meinem Ehemann Daniel Deering von ganzem Herzen danken für seine uneingeschränkte Unterstützung und Motivation. Auch unsere Kinder Jim und Ava möchte ich erwähnen, die während der intensiven Arbeitszeiten ihre eigenen Interessen zurückstecken mussten.